

Análise da viabilidade econômica da produção industrial de carvão vegetal por bagaço de malte

Analysis of the economic feasibility of industrial production of charcoal from malt bagasse

Gizelle Inacio Almerindo^{1*} , Henrique Veeck Rossol¹ 

RESUMO

O carvão ativado apresenta suma importância em processos de adsorção de estações de tratamento de efluentes. Nesse contexto, a comunidade acadêmica direciona esforços para a produção de adsorventes alternativos e de menor custo utilizando resíduos agroindustriais. De maneira especial, o bagaço de malte, um resíduo da indústria cervejeira, pode ser utilizado para a obtenção de carvão vegetal, o qual tem sido aplicado em escala de bancada na remoção de fármacos em sistemas aquosos, por causa do seu potencial de remoção. Logo, o presente estudo contribui com uma análise referente à viabilidade econômica da produção industrial desse carvão. Empregou-se uma análise com foco no valor presente líquido e na taxa interna de retorno, com base em literatura, a fim de determinar o preço mínimo de venda/kg de carvão, com hipóteses preestabelecidas. Uma análise da implantação de uma unidade de produção de carvão vegetal nas cervejarias (*on site*), assim como de uma empresa direcionada para a compra do bagaço e produção do carvão (*off site*), foi realizada, obtendo-se preço de venda *on site* de US\$ 1,78/kg e de US\$ 1,84/kg para *off site*, ambos confirmando a viabilidade econômica do projeto. Ademais, com uma produção de 108 toneladas de carvão vegetal por ano com o preço mínimo de venda de US\$ 1,78, é possível pagar os custos, gerando retorno de 9%. Por fim, a produção em ambiente próprio (*off site*) se faz mais interessante economicamente, pois não é necessária a realização de um acordo com uma cervejaria, cuja produção ocorre conforme as suas premissas.

Palavras-chave: adsorvente; preço mínimo de venda; resíduos agroindustriais.

ABSTRACT

Activated carbon is of paramount importance in adsorption processes in effluent treatment plants. In this context, the academic community directs efforts toward the production of alternative and lower cost adsorbents using agro-industrial residues. In particular, malt bagasse, a residue from the brewing industry, can be used to obtain charcoal, which has been applied on bench scale in the removal of drugs in aqueous systems. Due to the potential for their removal, the present study contributes with an analysis regarding the economic viability of the industrial production of this coal. An analysis focusing on Net Present Value and Internal Rate of Return was used, based on literature, in order to determine the minimum selling price/kg of coal, with pre-established hypotheses. An analysis of the implementation of a charcoal production unit inside the breweries (*on site*), as well as a company directed to the purchase of bagasse and production of charcoal (*off site*) was carried out, obtaining a sale price on site of US\$ 1.78/kg, and of US\$ 1.84/kg for off site, both confirming the economic viability of the project. Furthermore, with a production of 108 tons of charcoal per year with a minimum selling price of US\$ 1.78, it is possible to pay the costs, generating a return of 9%. Finally, off-site production becomes more economically interesting, as it is not necessary to reach an agreement with a brewery, whose production takes place within its premises.

Keywords: adsorption; minimum selling price; agro-industrial waste.

INTRODUÇÃO

O consumo de água potável é de grande importância para a sobrevivência humana, no entanto, com o aumento populacional e as grandes evoluções no sistema de saúde relacionadas à disponibilidade, bem como o uso indiscriminado de medicamentos, evidencia-se a presença dos mais variados tipos de fármacos nos corpos aquáticos, ocasionando a redução da qualidade das águas

(PETRIE, BARDEN, KASPRZYK-HORDERN, 2015; EBELE; ABDALLAH; HARRAD, 2017; ABDEL-RAOUF *et al.*, 2019).

Com o intuito de remover fármacos dos corpos hídricos, o processo de adsorção vem sendo amplamente estudado por conta das altas taxas de remoção desses tipos de compostos com o emprego de carvão vegetal e ativado. Nesse contexto, a desvantagem do preço elevado pode ser reduzida com a utilização

¹Universidade do Vale do Itajaí, Engenharia Química - Itajaí (SC), Brasil.

***Autora correspondente:** gizelle.almerindo@univali.br, gjqmc@yahoo.com

Conflitos de interesse: os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Financiamento: Universidade do Vale do Itajaí.

Recebido: 04/07/2022 - **Aceito:** 07/11/2022

de carvões produzidos de resíduos industriais ou ambientais (ALJEBOREE; ALSHIRIFI, 2018; NADOLNY *et al.*, 2020; PIMENTEL-ALMEIDA *et al.*, 2021).

Sendo o Brasil o terceiro maior produtor de cervejas do mundo, com mais de 13 bilhões de litros produzidos por ano, verifica-se a grande geração de resíduo cervejeiro, sendo o bagaço de malte responsável por cerca de 85% do total (MATHIAS; MELLO; SÉRVULO, 2014). O potencial de valoração desse resíduo tem sido investigado por diversos autores, de modo especial na produção de carvão ativado como adsorvente (ALIYU; BALA, 2011; MATHIAS; MELLO; SÉRVULO, 2014).

Buscando-se verificar a viabilidade econômica do processo de produção do carvão vegetal do bagaço de malte, Vanreppelen *et al.* (2014) propuseram a comparação dessa produção por meio de pirólise em uma indústria cervejeira e em uma indústria direcionada apenas a essa produção, empregando o modelo tecnoeconômico, utilizado para estimar o investimento total necessário para a implantação de uma unidade produtora, assim como custos de produção, o valor presente líquido (VPL) e a taxa interna de retorno (TIR), a fim de comparar os preços de produção por quilo desse carvão. Os autores concluíram que, mesmo que as suposições do modelo partam de um cenário significativamente pessimista, podem ser obtidos resultados encorajadores para uma produção lucrativa. O VPL é um excelente critério para analisar a viabilidade econômica de um projeto, sendo uma variável que representa o valor de fluxos de caixa presentes e futuros, resultados de um investimento aplicando-se uma taxa de desconto. Já a TIR consiste na taxa de desconto em que o valor presente esperado de entradas de caixa é igual ao valor presente esperado de saídas de caixa do projeto. Resumidamente, trata-se do valor de taxa de desconto que faz o VPL ser igual a 0.

Nesse âmbito, com base no estudo de Vanreppelen *et al.* (2014), verificou-se a possibilidade de aplicar a mesma estratégia de estudos para a produção de carvão vegetal de bagaço de malte obtido da Cervejaria Itajahy, localizada na cidade de Itajaí, Santa Catarina, Brasil, obtida em escala de bancada conforme estudos de Häring (2019). Ainda, para fins comparativos, realizaram-se a análise da implantação de uma unidade de produção de carvão vegetal nas cervejarias (*on site*) e também a análise de uma empresa direcionada exclusivamente para a compra do bagaço e produção do carvão (*off site*).

METODOLOGIA

Com base em estudos em escala de bancada que abordaram a produção de carvão vegetal obtido de bagaço de malte para a remoção de fármacos de sistemas aquosos (HÄRING, 2019; SILVEIRA NETO, 2019; NADOLNY *et al.*, 2020), avançou-se para uma análise referente à viabilidade econômica da produção industrial do carvão em questão. Realizaram-se pesquisas de literatura referentes à produção anual de bagaço de malte em cervejarias artesanais de médio/grande porte a fim de determinar a capacidade produtiva anual de carvão vegetal, e, com base nos estudos propostos por Vanreppelen *et al.* (2014), foram feitas as pesquisas e estipulações necessárias para a realização das análises de VPL e TIR com base nas Equações 1 e 2.

A Equação 1 (VERNIMMEN *et al.*, 2005) demonstra como calcular o VPL em reais. É preciso determinar o fluxo de caixa (CF_n), também em reais, por meio de uma equação auxiliar, estipular o investimento inicial (I_0) em reais, o tempo de vida útil desse investimento (T_{vu}) em anos e, conseqüentemente, o ano de análise do projeto e, por fim, definir a taxa de desconto do projeto (i).

$$VPL = \sum_{n=1}^{T_{vu}} \frac{CF_n}{(1+i)^n} - I_0 \quad (1)$$

A Equação 2 (THEWYS; KUPPENS, 2008) indica como se calcula o fluxo de caixa necessário para obter o VPL em determinado ano, trabalhando com a diferença entre a receita (R) e as despesas (E) em reais, levando-se em consideração os impostos (t) cabíveis ao investimento. É também necessário levar em consideração a questão de depreciação (D) do investimento, uma vez que ela influencia nos impostos pagos (VANREPELEN *et al.*, 2011).

$$CF_n = (1-t) * (R - E) + (t * D) \quad (2)$$

Nesse âmbito, são apresentados os fluxogramas para a análise de uma produção *on site* e *off site* na Figura 1.

Para verificar o investimento inicial exigido, foi confeccionado um fluxograma simplificado de processo relacionando os equipamentos necessários para a realização do processo, considerando o processamento do bagaço de malte via pirólise sem utilização de atmosfera inerte, hipótese baseada nos estudos de Häring (2019). Mais detalhadamente, a pirólise é a degradação de resíduos por aquecimento em atmosfera deficiente de oxigênio, ou seja, abaixo do nível estequiométrico de combustão.

Com os equipamentos necessários relacionados, foi feita uma análise mercadológica em *sites* de venda de equipamentos para determinar o valor desse investimento inicial. Convém evidenciar que no presente estudo não se levaram em conta custos com a procura nem a aquisição do terreno, tampouco com construções para a produção.

Os custos anuais de operação dos processos englobam as necessidades para o funcionamento correto da empresa, tratando-se no presente estudo dos custos de energia elétrica, gás natural e água, para a operação dos equipamentos e

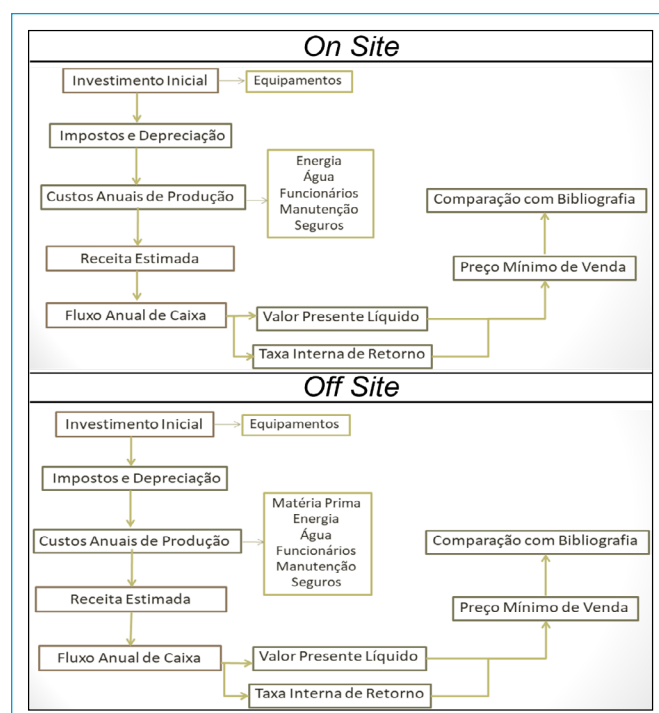


Figura 1 - Fluxograma da análise de viabilidade econômica da produção de carvão vegetal on site e off site.

processos produtivos, assim como custos referentes a salário dos funcionários, manutenções da planta produtiva, seguros e um valor reservado para gastos extras que possam surgir. No caso do estudo de sistema de produção *off site*, existe a adição do custo acerca da aquisição do bagaço de malte utilizado como matéria-prima no processo produtivo, sendo essa a única diferença no que tange aos custos anuais de produção entre os sistemas analisados.

Realizaram-se análises para a viabilidade econômica da produção do carvão vegetal em um sistema *on site*, ou seja, em uma unidade produtora estabelecida em uma cervejaria; e para um sistema *off site*, em uma indústria independente de produção de carvão vegetal mediante o bagaço de malte. Por fim, foi feita uma comparação entre os resultados obtidos no presente trabalho e os resultados obtidos por Vanreppelen *et al.* (2014), bem como uma comparação entre a produção *on site* e *off site*.

A análise dos resultados obtidos por meio da técnica do VPL é simples. Se o valor de VPL obtido for igual a 0, significa que os fluxos de caixa obtidos pelo projeto são suficientes para recuperar o investimento inicial realizado, além de gerar a taxa de retorno pré-estipulada. Se o valor for positivo, significa que o caixa gerado é maior do que o necessário para rebater a dívida e gerar o retorno pré-estipulado (BRIGHAM; HOUSTON, 1999). De maneira resumida, se o valor de VPL for 0 ou superior a 0, o projeto é economicamente viável e pode ser continuado.

A TIR é o valor de taxa de desconto que faz o VPL ser igual a 0. Essa taxa é denominada de interna, pois depende apenas dos fluxos de caixa do investimento; não sofre nenhuma influência de taxas externas (CHEROBIM, LEMES JUNIOR; RIGO, 2002). Se o valor de TIR determinado for menor do que o valor de retorno requisitado pelo projeto (i), então o projeto não é economicamente viável e deve ser rejeitado. De forma resumida, a TIR leva em conta os fluxos de caixa em diferentes tempos. Dessa maneira, ela expressa a rentabilidade do fluxo de caixa e, quanto maior seu valor, mais vantajoso é o projeto, do ponto de vista de retorno econômico.

O preço mínimo de venda foi o principal objetivo da análise realizada por Vanreppelen *et al.* (2014), entendido como o preço por tonelada de carvão ativado produzido que, de acordo com o método e as hipóteses empregados, foi capaz de zerar o VPL, ou seja, ao menos ter um retorno suficiente para cobrir os gastos com a implantação da indústria e retornar a taxa de desconto pré-estipulada (VANREPPPELEN *et al.*, 2014).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A fim de facilitar a visualização do processo produtivo analisado e, por consequência, dos equipamentos necessários para tal processo, construiu-se um fluxograma de processo simplificado (Figura 2), com base nos trabalhos de Häring (2019) e adaptando o fornecido por Vanreppelen *et al.* (2011).

É importante salientar que no presente estudo a etapa de ativação por meio de vapor do carvão vegetal apresentada por Vanreppelen *et al.* (2011) foi removida por não demonstrar ganho de capacidade adsorptiva significativo para justificar os custos envolvidos no processo. Essa modificação foi realizada com base nas capacidades adsorptivas encontradas por Häring (2019) e Silveira Neto (2019), que exibiram pouca diferença da encontrada após ativação por vapor.

A determinação da capacidade produtiva anual desse processo foi feita com base na geração média de bagaço de malte em cervejarias artesanais, de 720 toneladas de bagaço por ano, levando-se em conta o rendimento médio de 15% na transformação de bagaço em carvão, relatado por Häring (2019) e Silveira Neto (2019), assim como perdas possíveis, estabelecendo-se a geração anual de 108 toneladas de carvão vegetal no ano.

É importante citar que todos os valores apontados nos tópicos a seguir estão em dólar, a fim de garantir maior tempo de aplicabilidade dos resultados. A taxa de conversão utilizada foi referente ao dia 6 de setembro de 2022, quando US\$ 1 equivalia a R\$ 5,23.

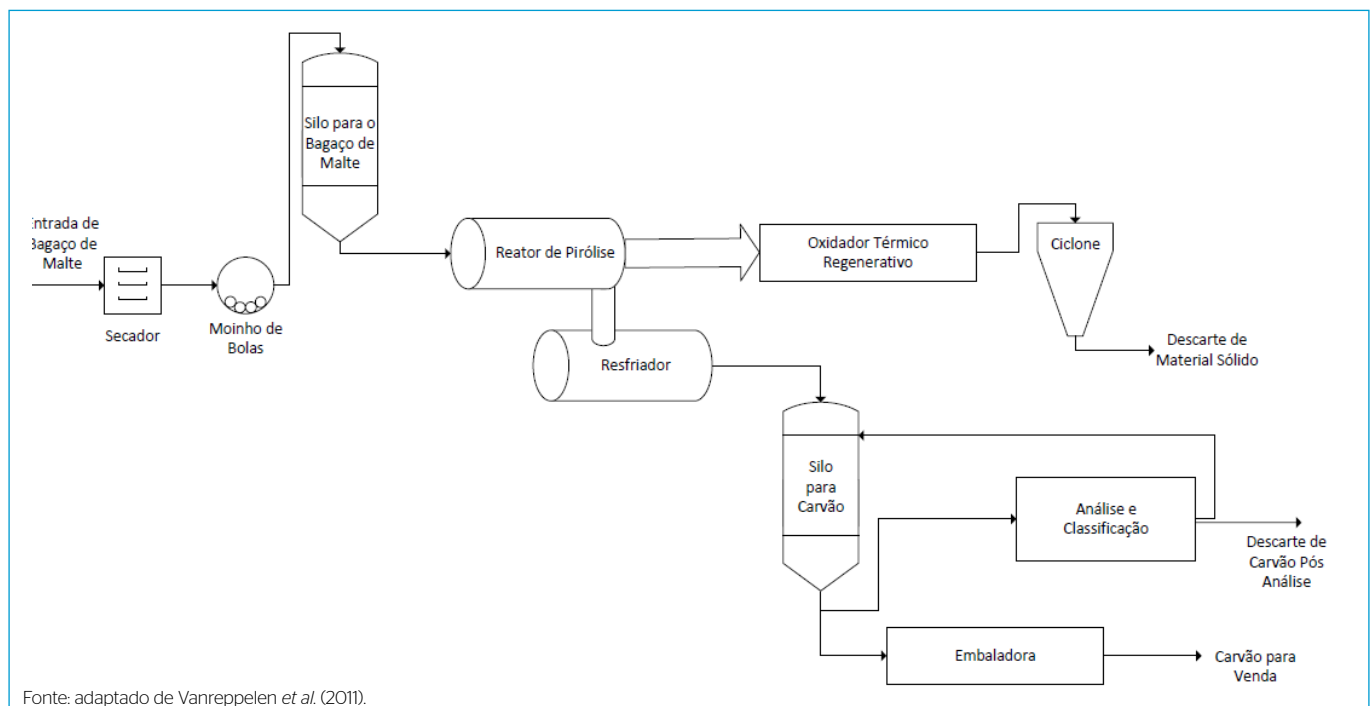


Figura 2 - Fluxograma da produção de carvão por pirólise.

Investimento inicial

Com base nos valores obtidos, estipulou-se a produção de 9 toneladas de carvão vegetal por mês, levando-se em conta o rendimento de 15%, já apresentado, a fim de determinar o investimento inicial do projeto referente aos custos com equipamentos. Custos com procura e aquisição do terreno e construções para a realização dessa produção não foram considerados no presente trabalho.

Os custos relacionados aos equipamentos necessários estão na Tabela 1.

Entre os principais produtos gasosos da pirólise, destacam-se hidrogênio, monóxido de carbono, dióxido de carbono, metano, etano e etileno. Dessa forma, o oxidador térmico regenerativo e o ciclone são empregados no processo produtivo a fim de reduzir e idealmente eliminar a emissão dos gases tóxicos gerados durante a pirólise.

Produção on site

A produção de carvão foi realizada na própria cervejaria, levando-se em consideração a implantação dos equipamentos e custos de operação anuais. A matéria-prima não apresenta custos, uma vez que se origina na própria cervejaria.

Custos anuais de operação

Os custos anuais de operação estão relacionados às necessidades para o funcionamento da empresa. No caso estudado, enquadram-se os custos com energia elétrica, gás natural, água, funcionários, manutenção, seguros e gastos extras. Tais valores foram obtidos com base em tabelas e cotações de 2022, ano da realização do presente estudo, e estão na Tabela 2.

Receita estimada

Uma vez que o foco da análise econômica realizada por Vanreppelen *et al.* (2014) era encontrar o preço mínimo de venda do carvão vegetal, foram feitas buscas

por preços de venda de carvões vegetais e ativados utilizados para adsorção e diversas análises de receita estimada para valores presentes na faixa de custos encontrada. Os valores de US\$ 1,72, US\$ 3,82 e US\$ 6,53 são preços de compra de carvão vegetal e ativado cotados no mercado e capazes de demonstrar casos encontrados de viabilidade econômica, auxiliando, dessa forma, na determinação do preço mínimo de venda.

Fluxo anual de caixa

O fluxo anual de caixa foi obtido para as receitas estipuladas, com base na Equação 2, e em valores de 10% de depreciação (D) e de 19% de impostos (t) industriais brasileiros. Com base nos valores obtidos de fluxo de caixa, já é possível evidenciar quais preços de venda apresentam ou não viabilidade econômica, porém com as análises do VPL e da TIR isso se torna mais claro.

Valor presente líquido

Para o cálculo do VPL, foi utilizada a Equação 1, com as hipóteses pré-estipuladas de tempo de vida útil do investimento (T) de 20 anos, taxa de desconto (i) de 9%, levando-se em consideração taxas de juros do mercado e margem de risco, assim como o valor de investimento inicial obtido.

Taxa interna de retorno

Como a taxa obtida para os valores de venda é igual ou superior à taxa de desconto estipulada nas considerações iniciais do projeto, no caso do presente trabalho, de 9%, o projeto é economicamente viável e pode ter continuidade. Caso a taxa fosse menor, o projeto deveria ter sido rejeitado.

A Tabela 3 apresenta os valores de preço de venda, receita estimada, fluxo de caixa, VPL e TIR calculados para o cenário.

Com os resultados obtidos com base nos valores de venda supostos pela busca mercadológica, percebeu-se a inviabilidade econômica do valor de US\$ 1,72/kg, tendo em vista os resultados do VPL inferiores a 0 e TIR inferior a 9%, valor estipulado nas hipóteses do presente trabalho.

Tabela 1 - Investimento total de capital.

Equipamento	Custo (US\$)	Participação no investimento inicial (%)
Moinho de bolas	8.000	3,36
Secadora	6.500	2,73
Silo para o bagaço	26.000	10,93
Reator de pirólise	63.500	26,70
Oxidador térmico regenerativo	100.000	42,05
Ciclone	3.537,28	1,49
Resfriadores	11.000	4,63
Silo para o carvão	608,03	0,26
Equipamentos para análise e classificação	2.676,86	1,13
Embaladora do carvão (sacos de 1 kg)	16.000	6,73
Investimento total	237.822,18	100

Tabela 2 - Custos anuais de operação on site.

Operação	Custo (US\$/ano)	Participação no custo de operação (%)
Energia elétrica	24.009,42	14,94
Gás natural	4.789,84	2,98
Água	64.719,69	40,28
Funcionários	45.065,01	28,05
Manutenção	8.138,27	5,07
Seguros	4.650,44	2,89
Extras	9.300,88	5,79
Custo total	160.673,55	100

Tabela 3 - Resultados obtidos na análise econômica da produção de carvão on site.

Análise	Preço de venda (US\$/kg)	Receita anual estimada (US\$)	Fluxo de caixa (US\$)	Valor presente líquido (US\$)	Taxa interna de retorno (%)
1	1,72	185.850,86	20.393,62	- 46.357,88	6,07
2	3,82	413.001,91	204.385,97	1633.224,71	87,90
3	6,53	704.994,26	440.899,78	3.792.251,78	189,62

Em relação aos outros dois casos (US\$ 3,82 e US\$ 6,53), viu-se a viabilidade econômica da análise ao se considerar resultados de VPL e TIR. Dessa forma, o preço mínimo de venda por quilo consiste em um valor entre US\$ 1,72 e US\$ 3,82.

Preço mínimo de venda

A fim de determinar o preço mínimo de venda por quilo do produto, foram feitas diversas análises, utilizando a TIR de 9%, de acordo com a referência, com auxílio da ferramenta Excel.

Após as análises, obteve-se o preço mínimo de venda de US\$ 1,78. O valor presente líquido encontrado para esse preço de venda foi nulo, confirmando que o valor mínimo de venda gera retorno suficiente para arcar com as despesas anuais e rebater o investimento inicial ao final do tempo de vida útil do projeto.

Vanreppelen *et al.* (2014) apresentam em seu artigo uma tabela relacionando os principais dados e variáveis obtidos para a produção de 1 ton.h⁻¹, de três tipos diferentes de carvão ativado. Considerando que o trabalho foi realizado na Bélgica, os valores foram convertidos de euro para dólar de acordo com a cotação vigente.

A comparação entre os resultados obtidos no presente artigo, com base nos dados de Silveira Neto (2019), e os resultados alcançados por Vanreppelen *et al.* (2014) está na Tabela 4.

Os valores foram fornecidos por Vanreppelen *et al.* (2014) em euro. Assim, foi feita a conversão para reais utilizando a cotação monetária de € 1 equivalente a US\$ 1, obtida em 6 de setembro de 2022.

A análise demonstra que os investimentos e custos anuais de operação de Vanreppelen *et al.* (2014) são muito mais elevados. Isso ocorre, principalmente, em função da etapa utilizada de ativação de carvão e da limitação de produção estipulada no presente trabalho, que não é especificada pelos autores.

Outra importante diferença é a produção de carvão. O presente trabalho apresenta a limitação de 720 toneladas de matéria-prima anuais para serem convertidas em carvão. Já Vanreppelen *et al.* (2014) trabalham com a hipótese da disponibilidade de 67 mil toneladas de bagaço de malte anuais. Sendo assim, a produção anual de carvão ativado é muito maior, levando-se em consideração o rendimento de 15%.

Todavia, a comparação demonstra que o presente trabalho obteve preço de venda inferior ao de Vanreppelen *et al.* (2014), o que pode ser um grande ponto positivo, uma vez que o preço mais acessível é um atrativo para o carvão, tendo em vista que análises apontam para capacidades adsorptivas similares dos quatro carvões em análise para fármacos presentes em água.

Produção off site

A produção realizada fora da cervejaria leva em consideração a implantação dos equipamentos relacionados com o investimento inicial, já apresentado, e custos anuais de produção, assim como o custo referente à matéria-prima.

Tabela 4 – Comparação entre os resultados obtidos em referências de literatura.

Carvão produzido	ACBSG05 (Vanreppelen, et al., 2014)	ACBSG06 (Vanreppelen, et al., 2014)	ACBSG07 (Vanreppelen, et al., 2014)	Carvão (Itajahy) (Håring, 2019)
Investimento total (US\$)	10.365.000	10.301.000	10.359.000	237.822,18
Custos de operação anuais (US\$)	2.697.000	2.686.000,00	2.695.000	160.673,55
Preço mínimo de venda (US\$/ton)	2.900	3.700	3.100	1.780

Custos anuais de operação

Os custos aqui apresentados são os mesmos analisados na produção *on site*, referentes a fontes de energia, água, mão de obra e extras, sendo a única diferença a necessidade de compra de matéria-prima de uma cervejaria. O fato de a produção não estar restrita a apenas uma cervejaria permite que a produção anual seja maior do que as 108 toneladas de carvão, uma vez que é possível comprar bagaço de malte de diversos parceiros para suprir a demanda anual. Porém, como um dos objetivos do presente trabalho é a comparação entre os dois modelos de produção, a fim de alcançar uma comparação justa, utilizou-se a mesma restrição produtiva, adotando-se a compra de 720 toneladas de bagaço no ano. De acordo com pesquisas de literatura, esse bagaço de malte pode ser obtido de cervejarias por um custo de US\$ 9,56 por tonelada (CORDEIRO, 2011; KAIROSCERVEJARIA, 2019), resultando assim em um custo anual com matéria-prima de US\$ 6.883,37.

Os custos encontram-se resumidos na Tabela 5.

Destaca-se que a matéria-prima tem influência de apenas 4,11% no valor do cenário avaliado.

Receita estimada

A análise de receita estimada foi realizada da mesma forma que para a produção *on site*, estabelecendo as mesmas três hipóteses de preço de venda com base nos valores comerciais encontrados. Como o custo de matéria-prima não influencia na receita, os valores obtidos foram os mesmos apontados na Tabela 3.

Fluxo anual de caixa

Foram utilizados taxa de depreciação (D) de 10%, em conformidade com Vanreppelen *et al.* (2011), e o valor de impostos industriais no Brasil (I) de 19%, de acordo com os órgãos competentes (BRASIL, 2020). A variável E representa o total dos custos anuais. Em uma análise dos resultados, percebeu-se que o fluxo de caixa sofre redução, por conta da adição do custo com matéria-prima.

Tabela 5 – Custos anuais de operação off site.

Operação	Custo (US\$/ano)	Participação no custo de operação (%)
Energia elétrica	24.009,42	14,33
Gás natural	4.789,84	2,86
Água	64.719,69	38,63
Funcionários	45.065,01	26,90
Manutenção	8.138,27	4,86
Seguros	4.650,44	2,78
Extras	9.300,88	5,55
Matéria-prima	6.883,37	4,11
Custo total	167.556,92	100

Valor presente líquido

Novamente, para o cálculo do VPL, foi utilizada a Equação 1, a fim de verificar a viabilidade econômica da produção do carvão em sistema *off site*, buscando no mínimo VPL nulo, para que o projeto apresentasse viabilidade econômica.

Da mesma forma que na análise *on site*, o tempo de vida útil do investimento (T) foi delimitado em 20 anos, e a taxa de desconto (i) foi estabelecida em 9%. O valor de investimento inicial total (I_0) é o mesmo empregado na análise *on site*, obtido do preço de compra dos equipamentos.

Taxa interna de retorno

De mesma forma que na análise realizada para a produção *on site*, buscou-se taxa de desconto para os valores de venda igual ou superior à taxa de desconto estipulada nas considerações iniciais do projeto, no caso do presente trabalho, 9%. Logo, o projeto é economicamente viável e pode ter continuidade. Caso a taxa fosse menor, o projeto deveria ter sido rejeitado.

A Tabela 6 apresenta os valores de preço de venda, receita estimada, fluxo de caixa, VPL e TIR encontrados.

Ao se efetuar uma análise dos resultados obtidos com base nos valores de venda supostos mediante a busca mercadológica, percebeu-se, assim como no projeto *on site*, a inviabilidade econômica do valor de US\$ 1,72/kg, com base nos resultados de VPL inferior a 0, e TIR inferior aos 9% estipulados nas hipóteses do presente trabalho.

Analisando os valores de venda de US\$ 3,82 e US\$ 6,53, confirmou-se a viabilidade econômica da análise ao se considerar resultados de VPL e TIR, de forma similar ao projeto *on site*. O preço mínimo de venda também se encontra entre os valores de US\$ 1,72 e US\$ 3,82.

De modo geral, é possível notar que o custo de matéria-prima não mostrou influência na viabilidade econômica nas condições adotadas para os casos estudados. O investimento inicial e os custos da operação padrão para os dois casos são mais expressivos na análise econômica. Essa análise é corroborada pela interpretação da Tabela 5, que demonstra influência de 4,11% no valor de operação anual da matéria-prima na quantidade e em parâmetros estipulados.

Preço mínimo de venda

Conforme os resultados obtidos nas análises anteriores com base nas hipóteses utilizadas, verificou-se que o preço mínimo de venda novamente seria superior a US\$ 1,72 e inferior a US\$ 3,82 nas condições de projeto.

Com a finalidade de se determinar o preço mínimo de venda por quilo do produto, as mesmas análises, com auxílio da ferramenta Excel, foram realizadas, utilizando a TIR pré-estabelecida de 9%.

Após as análises, obteve-se preço de venda de US\$ 1,84 para se atingir VPL nulo, tratando-se, portanto, do valor mínimo de venda para gerar retorno suficientemente capaz de arcar com as despesas anuais e pagar o investimento inicial ao final do tempo de vida útil do projeto.

Novamente, realizou-se uma comparação entre os resultados obtidos no presente trabalho e os resultados encontrados por Vanreppelen *et al.* (2014), utilizando a conversão para reais por meio da cotação monetária de € 1 equivalente a US\$ 1, obtida em 6 de setembro de 2022.

A Tabela 7 apresenta a comparação dos principais resultados encontrados.

Como verificado ao longo das análises anteriores, o custo com matéria-prima para a produção *off site* do presente trabalho não apresenta grande impacto quando comparado aos custos de produção anuais e investimento inicial. Dessa forma, o preço mínimo de venda por tonelada não apresenta grande diferença do encontrado na produção *on site*.

Já no trabalho realizado por Vanreppelen *et al.* (2014), viu-se que o custo anual de operação tem aumento de 63,2% por conta da matéria-prima, valor muito mais expressivo que os 4,11% do presente trabalho.

Essa diferença dá-se por conta da incógnita em relação à quantidade de matéria-prima adquirida anualmente utilizada nas hipóteses do trabalho de Vanreppelen *et al.* (2014), uma vez que não é citada a produção anual de carvão, e sim apenas que o projeto tem capacidade produtiva de 1 ton.h⁻¹.

Dessa forma, do ponto de vista de competitividade de mercado, o preço mais acessível do carvão Itajahy pode ser um atrativo comercial, tendo em vista que análises demonstraram capacidades adsorptivas similares dos quatro carvões em análise para fármacos presentes em água. Por outro lado, o preço de venda encontrado no presente trabalho para atender a altas demandas de carvão pode alterar-se de acordo com o custo atribuído para a matéria-prima.

Comparação entre produção *on site* e produção *off site*

De acordo com os resultados obtidos nos dois modelos de produção, percebeu-se que o preço mínimo de venda encontrado no projeto *on site* (US\$ 1,78) é 3,53% menor que o encontrado na produção *off site* (US\$ 1,84), em função da influência da matéria-prima.

Tabela 6 - Resultados obtidos na análise econômica da produção de carvão *off site*.

Preço de venda (US\$/kg)	Receita anual estimada (US\$)	Fluxo de caixa (US\$)	Valor presente líquido (US\$)	Taxa interna de retorno (%)
1,72	185.850,86	14.818,10	- 97.254,32	2,43
3,82	413.001,91	198.810,45	1.582.328,27	85,50
6,53	704.994,26	435.324,25	3.741.355,34	187,22

VPL: valor presente líquido; TIR: taxa interna de retorno.

Tabela 7 - Comparação entre os resultados obtidos e referência bibliográfica.

Carvão produzido	ACBSG05 (Vanreppelen <i>et al.</i> , 2014)	ACBSG06 (Vanreppelen <i>et al.</i> , 2014)	ACBSG07 (Vanreppelen <i>et al.</i> , 2014)	Carvão (Itajahy) (Håring, 2019)
Investimento total (US\$)	10.365.000	10.301.000	10.359.000	237.822,18
Custos de operação anuais (US\$)	2.697.000	2.686.000	2.695.000	167.556,92
Preço mínimo de venda (US\$/ton)	2.900	3.700	3.100	1.840

Por conta da pequena diferença entre custos de operação, incluindo compra de matéria-prima, pode-se concluir que, para uma indústria externa que tenha interesse na realização desse processo, a produção em ambiente próprio (*off site*) se faz mais interessante economicamente que um acordo com uma cervejaria cuja produção ocorra nas suas instalações (produção *on site*). No caso de a produção ocorrer fora de uma cervejaria, a empresa que realiza a produção do carvão não fica limitada à matéria-prima de uma única empresa, sendo livre para buscar vários fornecedores, aumentando, dessa forma, sua produção anual após a realização de uma análise de equipamentos extras necessários principalmente para armazenagem, uma vez que os equipamentos de processo apresentam capacidade para expansão de produção acima de 108 toneladas anuais.

Do ponto de vista de uma cervejaria que deseja dar finalidade a um de seus principais resíduos gerados e, ao mesmo tempo, obter lucro, verifica-se que a produção *on site* é interessante. Não é do interesse da cervejaria comprar mais bagaço de malte, pois o seu foco não é uma produção elevada de carvão, mas apenas dar finalidade ao resíduo. Portanto, entende-se que existe o custo inicial de implantação, que pode não ser algo atrativo, porém, com a redução de custos com a destinação final do resíduo e o aumento da receita da empresa com a venda do carvão, em longo prazo esse projeto pode ser interessante.

Ademais, a água obtida do processo de secagem do bagaço de malte pode ser reutilizada na indústria, seja para auxiliar em processos que necessitem de aquecimento, por ser uma água aquecida, seja até mesmo, no caso da produção *on site*, nos processos produtivos da cervejaria, após os tratamentos pertinentes dessa água.

Por fim, percebe-se que a receita gerada pela venda do carvão produzido na cervejaria, com preço de US\$ 1.780 por tonelada, é 186 vezes maior do que o preço de venda de bagaço de malte encontrado na literatura, que tem em média o preço de US\$ 9,56 por tonelada (KAIROSCERVEJARIA, 2019), sendo dessa forma um investimento de interesse econômico para as cervejarias, visando obter lucro de um resíduo de sua produção.

Um ponto negativo a ser levado em consideração em relação à produção *on site* é o fato de que o carvão vegetal para adsorção é um produto com público-alvo muito diferente do de cervejas. Assim, é possível que a produção *on site* não seja interessante.

Outro aspecto a ser considerado para tomada de decisões entre *off site* e *on site* se baseia numa análise qualitativa da influência das variáveis operacionais, como a quantidade de carvão a ser produzido, visto o baixo rendimento médio da produção (cerca de 15%). No *off site*, tem-se a garantia de diferentes fornecedores, assegurando a maior produção e a disponibilidade de produto ao setor de adsorventes.

CONCLUSÕES

O estudo da implantação de uma unidade de produção de carvão vegetal do bagaço de malte em indústrias cervejeiras (*on site*) demonstra que, ao realizar a produção de 108 toneladas de carvão vegetal por ano com preço mínimo de venda de US\$ 1,78 por quilo, é possível pagar os custos, gerando retorno de 9% para a empresa, sendo esse preço de venda equiparado ao de marcas de carvão vegetal para adsorção presentes no mercado. Tal conclusão foi obtida com base na análise do VPL, da TIR e do preço mínimo de venda realizada por Vanreppelen *et al.* (2014). O preço mínimo de venda obtido no presente trabalho foi inferior ao alcançado na referência para condições e hipóteses similares.

Da mesma forma, desenvolveu-se uma análise referente ao cenário de uma empresa especializada que adquire o bagaço de malte (*off site*), tendo como base a metodologia aplicada para a produção em cervejarias encontrada em estudos de literatura, trabalhando com as mesmas 108 toneladas de produção anuais, resultando no preço mínimo de venda de US\$ 1,84 para obter o retorno citado anteriormente. Esse preço mais uma vez se equipara ao de marcas de carvão vegetal comerciais.

Determinou-se que a maior diferença entre as duas análises é o fato de a produção de uma indústria independente não estar limitada à geração de bagaço de malte da cervejaria em que estaria aplicada, sendo possível, dessa forma, aumentar sua produção anual para valores superiores a 108 toneladas, contanto que os equipamentos tenham essa capacidade.

É possível concluir que a implantação de uma unidade de produção de carvão vegetal a fim de dar finalidade lucrativa para um resíduo gerado pela indústria cervejeira é de interesse econômico tanto para uma cervejaria quanto para uma indústria nova que deseja ingressar no segmento de produção de carvão vegetal por meio de resíduos.

CONTRIBUIÇÕES DOS AUTORES

Almerindo, G.I.: Conceituação, Curadoria de Dados, Análise formal, Investigação, Metodologia, Administração do Projeto, Supervisão, Escrita — Primeira Redação, Escrita — Revisão e Edição. Rossol, H.V.: Conceituação, Curadoria de Dados, Análise formal, Investigação, Metodologia, Administração do Projeto, Escrita — Primeira Redação, Escrita — Revisão e Edição.

AGRADECIMENTOS

À Universidade do Vale do Itajaí, o suporte técnico.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-RAOUF, M.E.; MAYSOUR, N.; FARAG, R.K.; ABDUL-RAHEIM, M. Wastewater treatment methodologies: review article. *International Journal of Environment and Agricultural Science*, v. 3, n. 1, p. 2-25, 2019.
- ALIYU, S.; BALA, M. Brewer's spent grain: A review of its potentials and applications. *African Journal of Biotechnology*, v. 10, n. 17, p. 324-331, 2011.
- ALJEBOREE, A.M.; ALSHIRIFI, A.N. Adsorption of pharmaceuticals as emerging contaminants from aqueous solutions on to friendly surfaces such as activated carbon: a review. *Journal of Pharmaceutical Sciences and Research*, v. 10, n. 9, p. 2252-2257, 2018.
- BRASIL. Decreto nº 10.254, de 20 de fevereiro de 2020. Altera a Tabela de Incidência do Imposto sobre Produtos Industrializados - TIPI, aprovada pelo Decreto nº 8.950, de 29 de dezembro de 2016. Brasil, 2020.
- BRIGHAM, E.F.; HOUSTON, J.F. *Fundamentos da moderna administração financeira*. São Paulo: Campus, 1999.

CHEROBIM, A.P.M.S.; LEMES JUNIOR, A.B.; RIGO, C.M. *Administração financeira: princípios, fundamentos e práticas brasileiras*. São Paulo: GEN Atlas, 2002.

CORDEIRO, L.G. *Caracterização e viabilidade econômica do bagaço de malte oriundo de cervejarias para fins energéticos*. 121f. Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2011.

EBELE, A.J.; ABDALLAH, M.A.-E.; HARRAD, S. Pharmaceuticals and personal care products (PPCPs) in the freshwater aquatic environment. *Emerging Contaminants*, v. 3, n. 1, p. 1-16, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.emcon.2016.12.004>

HÁRING, V.F. *Estudo da adsorção do diclofenaco sódico através do carvão ativado proveniente do bagaço de malte*. 60f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2019.

KAIROSCERVEJARIA. *Preço de Venda do Bagaço de Malte*. Kairoscevejeria, 2019.

MATHIAS, T.R.S.; MELLO, P.P.M.; SÉRVULO, E.F.C. Solid wastes in brewing process: a review. *Journal of Brewing and Distilling*, v. 5, n. 1, p. 1-9, 2014. <https://doi.org/10.5897/JBD2014.0043>

NADOLNY, B.; HEINECK, R.G.; BAZANI, H.A.G.; HEMMER, J.V.; BIAVATTI, M.L.; RADETSKI, C.M.; ALMERINDO, G.I. Use of brewing industry waste to produce carbon-based adsorbents: paracetamol adsorption study. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, v. 55, n. 8, p. 947-956, 2020. <https://doi.org/10.1080/10934529.2020.1759320>

PETRIE, B.; BARDEN, R.; KASPRZYK-HORDERN, B. A review on emerging contaminants in wastewaters and the environment: current knowledge,

understudied areas and recommendations for future monitoring. *Water Research*, v. 72, p. 3-27, 2015. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2014.08.053>

PIMENTEL-ALMEIDA, W.; ITOKAZU, A.G.; BAZANI, H.A.G.; MARASCHIN, M.; RODRIGUES, O.H.C.; CORRÊA, R.G.; LOPES, S.; ALMERINDO, G.I.; MORESCO, R. Beach-cast Sargassum cymosum macroalgae: biochar production and apply to adsorption of acetaminophen in batch and fixed-bed adsorption processes. *Environmental Technology*, p. 1-14, 2021. <https://doi.org/10.1080/09593330.2021.1989058>

SILVEIRA NETO, A.L. *Adsorção de paracetamol em coluna de leito fixo empacotada com carvão obtido de bagaço de malte*. 99f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Química) – Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2019.

THEWYS, T.; KUPPENS, T. Economics of willow pyrolysis after phytoextraction. *International Journal of Phytoremediation*, v. 10, n. 6, p. 561-583, 2008. <https://doi.org/10.1080/15226510802115141>

VANREPELEN, K.; KUPPENS, T.; THEWYS, T.; CARLEET, R.; YPERMAN, J.; SCHREURS, S. Activated carbon from co-pyrolysis of particle board and melamine (urea) formaldehyde resin: a techno-economic evaluation: a technoeconomic evaluation. *Chemical Engineering Journal*, v. 172, n. 2-3, p. 835-846, 2011. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2011.06.071>

VANREPELEN, K.; VANDERHEYDEN, S.; KUPPENS, T.; SCHREURS, S.; YPERMAN, J.; CARLEER, R. Activated carbon from pyrolysis of brewer's spent grain: production and adsorption properties: Production and adsorption properties. *Waste Management & Research*, v. 32, n. 7, p. 634-645, 2014. <https://doi.org/10.1177/0734242x14538306>

VERNIMMEN, P.; QUIRY, P.; DALLOCCIO, M.; LE FUR, Y.; SALVI, A. *Corporate finance: theory and practice*. West Sussex: John Wiley & Sons, 2005.

